

BEST AVAILABLE COPY



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 41 23 230 A 1

⑳ Aktenzeichen: P 41 23 230.5  
㉔ Anmeldetag: 13. 7. 91  
㉕ Offenlegungstag: 23. 1. 92

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
H 05 B 33/14  
H 05 B 33/18  
H 05 B 33/22  
G 09 F 9/00  
// C09K 11/56, 11/88,  
11/78, 11/84, 11/86,  
11/80, 11/64

DE 41 23 230 A 1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1  
18.07.90 FI 903633

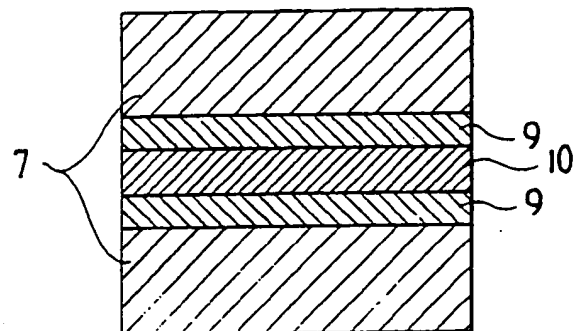
⑦1 Anmelder:  
Planar International Oy, Espoo, FI

⑦4 Vertreter:  
Fuchs, J., Dr.-Ing. Dipl.-Ing. B.Com.; Luderschmidt,  
W., Dipl.-Chem. Dr.phil.nat.; Seids, H., Dipl.-Phys.;  
Mehler, K., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Weiß, C.,  
Dipl.-Ing.Univ., Pat.-Anwälte, 6200 Wiesbaden

⑦2 Erfinder:  
Härkönen, Gitta; Härkönen, Kari, Espoo, FI;  
Törnqvist, Runar, Helsinki, FI

⑤4 Phosphorschicht einer elektrolumineszierenden Komponente

⑤7 Die Erfindung betrifft ein mehrschichtiges Phosphorschichtsystem für eine elektrolumineszierende Anzeige. Die erfindungsgemäße Phosphorschicht setzt sich aus mehreren übereinander geschichteten Grundmatrixmaterialsichten (7) und dazwischen angeordneten aktivatorhaltigen Dopingschichten (9, 10) zusammen. Die aktivatorhaltigen Dopingschichten (9, 10) sind extrem dünn, wodurch Störungen des Kristallwachstums des Grundmatrixmaterials an der Dopingschicht (9, 10) vermieden werden. Die aktivatorhaltige Dopingschicht (9, 10) kann eine tatsächliche Aktivatorschicht (10) und eine Abstimmsschicht (9) aufweisen, die zwischen der Grundmatrixmaterialsicht (7) und der tatsächlichen Aktivatorschicht (10) angeordnet ist, wobei die Abstimmsschicht (9) die Abstimmung zwischen der Grundmatrixmaterialsicht (7) und der tatsächlichen Aktivatorschicht (10) verbessert. Kraft der geschichteten Struktur ist es möglich, solche Grundmatrix-/Aktivatormaterialpaare zu verwenden, die anderenfalls aufgrund ihrer geringen Effizienz oder schwachen Lichtemissionen nutzlos wären.



DE 41 23 230 A 1

Die Erfindung betrifft eine Phosphorschicht in einer elektrolumineszierenden Komponente gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Die Verwendung von Phosphormaterialien in elektrolumineszierenden Anzeigen beruht auf der Lichtemission, die von einem Aktivator, der in einem Grundmatrixmaterial dispergiert ist, bei einer Wellenlänge innerhalb des sichtbaren Bands (ungefähr 380–700 nm) erzeugt wird. Das Grundmatrixmaterial muß zur Beschleunigung von Elektronen auf einen zur Erzeugung von sichtbarem Licht notwendigen Energielevel, welcher oberhalb von 2 eV liegt, geeignet sein. Im allgemeinen beeinflußt die kristallographische Umgebung der Aktivatoratome die Effizienz der Lichtemission, das Spektrum der Wellenlängen und die Stabilität. Es sind verschiedene Kombinationen von Grundmatrix- und Aktivatormaterialien mit ihren Emissionsspektren bekannt. Beispielsweise sind die folgenden Farbemissionen durch die Verwendung von diesen Materialpaaren erhältlich: CaS : Eu emittiert rot, ZnS : Mn gelb-orange, ZnS : Tb grün, SrS : Ce blau-grün, ZnS : Tm blau und SrS : Pr weiß.

Eine fundamentale Voraussetzung für das Dotieren des Grundmatrixmaterials mit einem Aktivator zur Erzeugung einer homogenen Phase ist, daß das Aktivatoratom oder ein ganzes Emissionszentrum in das Kristallgitter paßt. Diese Kompatibilität wird unter anderem durch den Größenunterschied und durch einen möglichen Valenzunterschied zwischen dem Grundmatrixmaterial und den Aktivatoratomen beeinflußt. Das Dotieren von Zinksulfid mit Mangan in kommerziell hergestellten Leuchtanzeigen ist ein Beispiel für ein gutes "Passen" der Aktivatoratome in ein Grundmatrixmaterial. Dennoch beschränkt die Kompatibilitätsanforderung von Aktivator und Grundmatrixmaterial die Zahl der verfügbaren wechselseitig angepaßten Grundmatrix-/Aktivatormaterialien und führt im allgemeinen zu einer niedrigen Aktivatorkonzentration im Grundmatrixmaterial. Beispielsweise ist das Dotieren von einer Zinksulfidmatrix mit seltenen Erden aufgrund deren Dimensions- und chemischer Inkompatibilität mit dem Kristallgitter des Grundmatrixmaterials schwierig.

Durch einen homogen dotierten Aktivator verursachte Änderungen in der Kristallinität, in der Orientierung, in Kristallgitterdefekten und den elektrischen Charakteristika des Grundmatrixmaterial, können aufgrund verschlechterter Effizienz und Stabilität zerstörerisch auf die Elektrolumineszenz wirken.

Darüberhinaus kann das Kristallgitter des Grundmatrixmaterials eine unvorteilhafte Umgebung für die Ausbeute der Lichtemission des Aktivators sein. Oft bleibt die Stabilität der Lichtemission aufgrund der thermodynamischen Instabilität des Grundmatrix-/Aktivatorsystems gering. Die Emissionseffizienz des Grundmatrix-/Aktivatorsystems wird durch Verwendung unterschiedlicher Coaktivatoren (z. B. SrS : Ce, K, Cl) und/oder komplexerer Emissionszentren (z. B. ZnS : Tb, O, F) verbessert, was aber dennoch die Verarbeitung der Phosphorschicht kompliziert.

Es sind Phosphorschichtstrukturen bekannt, in denen das Grundmatrixmaterial und ein relativ inkompatibles Aktivatormaterial in individuelle Schichten getrennt sind. (Vergleiche Morton, D.C. und Williams, F., "Multilayer thinfilm electroluminescent display", SID 1981 Digest, Vol. 12/1, Seite 30 bis 31). In der Praxis führt dies zu Multischichtstrukturen, in welchen die genannten

Schichten abwechselnd angeordnet sind. Die aktivatorhaltige Dopingschicht hat eine Mindestdicke von 10–20 nm. Ein Beispiel solch einer Struktur ist ein Phosphorsystem, das aus abwechselnd angeordneten

5 Schichten von dickem Zinksulfid und  $\text{Y}_2\text{O}_3$  : Eu zusammengesetzt ist und eine rote Emission ergibt (vgl. Suyama T., Okamoto K. und Hamakawa Y., "New type of thin film electroluminescent device having a multilayer structure", Appl. Phys. Lett. 41 (1982), Seiten 462 bis 464).

10 Die Anordnung einer separaten Aktivatorschicht unterbricht das Kristallgitter des Grundmatrixmaterials und verursacht Probleme beim Aufrechterhalten der Kristallinität, der Kristallgröße und Orientierung des Matrixmaterials. Darüberhinaus haben die separaten 15 Aktivatorschichten eine geringe Kristallinität und können sogar amorph sein, was nachteilig für den Elektronentransfer und die Effizienz der Lichtemission ist. In der dicken Aktivatorschicht verlieren Elektronen leicht ihre Energie, liefern so eine niedrige Ausbeute und darüberhinaus ist die Aussendung von Licht nur von einer 20 flachen Schicht an der Grenzfläche zwischen Grundmatrixmaterial und aktivatorhaltiger Dopingschicht möglich.

Probleme beim Dotieren mit einem Aktivator und die 25 geringe Kristallinität haben die Effizienz der Phosphorschichten und die Gesamthelligkeit der Lichtemission begrenzt.

Es ist Aufgabe der Erfindung eine hocheffiziente Phosphorschicht bereitzustellen, die auf mehrere unter- 30 schiedliche Grundmatrix-/Aktivatormaterialpaare abstimbar ist.

Die Erfindung beruht auf dem Dotieren der Phosphorschicht mit einem Aktivator, indem aktivatorhaltige Dopingschichten zwischen den Grundmatrixma- 35 terialschichten angeordnet werden, wobei die Grundmatrixmaterialsichten durch Abstimmsschichten getrennt sein können und die aktivatorhaltigen Dopingschichten so atomar dünn sind, daß keine wesentliche Störung der kristallinen Struktur und Orientierung des Grundmatrixmaterials verursacht wird. 40

Im einzelnen wird die erfindungsgemäße Phosphorschicht durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Anspruchs charakterisiert.

Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur separaten 45 Optimierung sowohl der Eigenschaften des Grundmatrixmaterials, das wichtig für die Beschleunigung der Elektroden ist, als auch der atomaren Umgebung des Aktivatormaterials geliefert, was wichtig für die Lichtemission ist, dergestalt, daß die Gesamteffizienz des Phosphorsystems verbessert wird. Kraft der vorliegen- 50 den Erfindung werden Probleme, die mit dem konventionellen Dotieren eines Grundmatrixmaterials mit einem Aktivator verbunden waren, vermieden und neue Paare von Grundmatrix-/Aktivatormaterialien können auf Phosphorschichtsysteme von hoher Effizienz ab- 55 gestimmt werden. Erfindungsgemäß wird die Verwendung von hohen relativen Konzentrationen des Aktivators erleichtert.

Der Kristallinitätsgrad, die Kristallgröße und Orientierung der Grundmatrixmaterialsichten und gleichzeitig des gesamten Phosphorschichtsystems, das nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt wird, sind den Eigenschaften überlegen, die man entweder durch homogen dotierte Phosphorschicht- oder Multi- 65 schichtphosphorsysteme aus separaten, dicken Schichten des Grundmatrix- und Aktivatormaterials erhält. Eine weitere erwähnenswerte Verbesserung besteht darin, daß die erfindungsgemäß hergestellte Phosphorsy-

stemstruktur es erlaubt, einen angestrebten Grad der kristallinen Ordnung und eine lokale Kristallstruktur auf atomarer Ebene bei einer tieferen Prozeßtemperatur zu erreichen, ja sogar ohne separate Wärmebehandlung, als es in Verbindung mit herkömmlichen Strukturen möglich ist.

Durch eine geeignete Anordnung der Abstimm-schichten und der aktivatorhaltigen Dopingschichten ist es möglich, Kristalldefekte zu kompensieren, die bei der Aufbringung der Grundmatrixschichten auftreten und deren Ausbreitung über das Kristallgitter zu verhindern.

Im folgenden wird die Erfindung detailliert unter Zu-hilfenahme der beigefügten Zeichnungen erläutert. In den Figuren zeigen

Fig. 1 die Struktur einer erfindungsgemäßen elektro-lumineszierenden Anzeigenkomponente;

Fig. 2 ein detailliertes Diagramm eines Abschnitts der Phosphorschicht (Schnitt A in Fig. 1);

Fig. 3 ein detailliertes Diagramm, das das Dotieren der Phosphorschicht durch Aufbringung einer planaren, dünnen Aktivatormaterialschicht erläutert;

Fig. 4 eine geschichtete Struktur, die auf einem Sub-strat durch abwechselnd gewachsene Schichten von Grundmatrixmaterial und Zwischenschichten angeord-net ist;

Fig. 5 ein Diagramm der Ergebnisse von Röntgen-beugungsmessungen für die in Beispiel 1 beschriebene Schichtstruktur;

Fig. 6 ein Diagramm der Helligkeit als Funktion der Anregungsspannung für eine in Beispiel 2 beschriebene elektrolumineszierende Struktur;

Fig. 7 die Abhängigkeit der Helligkeit von der Zahl der aktivatorhaltigen Dopingschichten;

Fig. 8 die Abhängigkeit der Helligkeit von der Dicke der aktivatorhaltigen Dopingschichten.

Die Funktionsprinzipien der in Fig. 1 gezeigten Kom-ponente einer Dünnfilmleuchtanzeige sind ebenso wie die erforderlichen Schichten der Dünnfilmstruktur wohl bekannt. Die Struktur weist ein transparentes Substrat 1, z. B. Glas, auf und eine Bodenelektrode 2 vom Dünn-filmtyp, die auf dem Substrat hergestellt ist. Die Boden-elektrode 2 ist aus einem transparenten Material, das über sich die wirklich lumineszierende Dünnfilmstruk-tur trägt, die übereinstimmend mit dem Diagramm übli-cherweise mehrere dünnfilmartige einzelne Schichten einschließen kann, namentlich eine untere Isolierungsschicht 3, eine Phosphorschicht 4 und eine obere Isolierungsschicht 5.

Oben auf der elektrolumineszierenden Struktur be-findet sich eine dünnfilmartige (im allgemeinen metalli-sche) obere Elektrode 6. Die Bodenelektrode 2 und die obere Elektrode 6 können beispielsweise die Spalten und Zeilenelektroden der Anzeigenmatrix bilden.

Ein Abschnitt der Phosphorschicht 4 von Fig. 1 (die umrandete Fläche A im Schaubild) wird genauer in Fig. 2 erläutert. Die Phosphorschicht 4 besteht aus Schichten unterschiedlicher Zusammensetzungen, na-mentlich Grundmatrixmaterialschichten 7, die zur Be-schleunigung der Elektronen dienen, und aktivatorhalti-gen Dopingschichten 8, die im Stande sind, Lichtemis-sion zu produzieren. Die aktivatorhaltigen Doping-schichten 8 sind sehr dünn. Ihre Zahl in der erfindungs-gemäßen Phosphorschicht 4 ist weder begrenzt noch muß deren Zusammensetzung identisch sein; vielmehr kann zum Erhalt verschiedener Farben eine einzelne Phosphorschicht 4 hergestellt werden, um verschiedene Arten von aktivatorhaltigen Dopingschichten 8 einzu-

schließen und umgekehrt kann eine einzelne aktivator-haltige Dopingschicht 8 hergestellt werden, um mehrere verschiedene Arten von Aktivatoren zu enthalten.

Die Fig. 3 zeigt eine erfindungsgemäße Ausführungs-form der aktivatorhaltigen Dopingschicht 8, die Ab-stimmschichten 9 und tatsächliche Aktivatorschichten 10 aufweist. In Fig. 3 wird eine Situation gezeigt, in der eine tatsächliche Aktivatorschicht 10 zwischen zwei Ab-stimmschichten 9 angeordnet ist. Im folgenden werden die typischen Abmessungen, Funktionen, Materialaus-wahl und Herstellung der verschiedenen filmartigen Schichten in allen Einzelheiten erleuchtet. Es soll festge-stellt werden, daß die verhältnismäßigen Skalierungen der Fig. 1, 2 und 3 keine wirklichen Abmessungen reprä-sentieren müssen.

Gemäß der der Erfindung zugrundeliegenden Idee werden Kristallwachstum und -orientierung in der Grundmatrixmaterialschicht 4 trotz der Aktivator-dotierung aufrechterhalten. Dies ist Kraft der atomar dünnen Struktur der Abstimmschichten 9 und der tatsächlichen Aktivatorschichten 10 möglich. Aufgrund ihrer extrem flachen Dicke passen sie sich epitaxial ihrer unterliegen-den Schicht an, was bedeutet, daß die Kristallstruktur der Grundmatrixmaterialschicht 7 als Substrat wirkt, wobei die Kristallgitterkräfte, verursacht durch Unter-schiede der Kristallgitterkonstanten und der thermi-schen Ausdehnungskoeffizienten an den Schichtgrenz-flächen, in Spannungen umgewandelt werden, die nicht in schädlichem Ausmaß in Kristalldefekte relaxiert wer-den.

Typische Dicken der filmartigen Schichten können beispielsweise sein: weniger als 100 nm für die Grund-matrixmaterialschichten 7; weniger als 5 nm, vorzugs-weise weniger als 1 nm für die Anpaßschichten 9; und weniger als 5 nm, vorzugsweise 0,5 bis 1 nm für die tat-sächlichen Aktivatorschichten 10. Die aus der Anpaß-schicht und der tatsächlichen Aktivatorschicht beste-hende Aktivatorschicht kann eine Gesamtdicke von 10 nm aufweisen.

Die Grundmatrixmaterialschicht 7 hat die Aufgabe die Elektronen auf einen Energielevel ( $> 2$  eV) zu be-schleunigen, der zur Aussendung von sichtbarem Licht ausreicht. Deswegen spielt die Kristallstruktur und Orientierung eine dominierende Rolle bei der Phosphorschicht: Die Dicke der Grundmatrixmaterial-schicht 7 kann zur praktischen Realisierung von Anzei-genkomponenten optimiert werden. Ihre minimale Dik-ke wird durch die mit der Elektronenbeschleunigung und der zulässigen Fläche der Dehnung im Kristallgitter verbundenen Anforderungen bestimmt.

Die Grundmatrixmaterialschicht 7 muß dick genug sein, um Spannungen zu absorbieren, die in ihrer Kri-stallstruktur beispielsweise durch die aktivatorhaltigen Dopingschichten 8 hervorgerufen werden. Die obere Grenze für die Dicke der Grundmatrixmaterialschicht 7 erhält man durch die Maximierung der Gesamthellig-keit, der durch die Phosphorschicht 4 verfügbaren Lichtemission (was generell bedeutet, daß eine maxima-le Zahl von "high-efficiency" aktivatorhaltigen Doping-schichten 8 in der Phosphorschicht 4 ist). Die Grundma-trixmaterialschicht 7 kann von gewünschter Dicke sein, ja in der Praxis ist es vorteilhaft, ihre maximale Dicke gemäß dem Maximalwert der Gesamthelligkeit der ge-schichteten Struktur einzustellen. Die Dicke der Phosphorschicht 4 wird durch die Anforderungen an die Anzeigenkomponente und ihre Leistungen bestimmt.

Beispiele für zur Verwendung als Grundmatrixmate-riale geeignete Materialien sind II-VI-Verbindungen

(z. B. ZnS, CdS und ZnSe) ebenso wie Erdalkalimetall-chalkogenide (z. B. MgS, CaO, CaS, SrS und BaS). Das Grundmatrixmaterial kann ebenso als Mischverbindung der oben genannten Materialien hergestellt sein, wie z. B.  $\text{ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$  oder  $\text{Ca}_{1-x}\text{Sr}_x\text{S}$ . Das Grundmatrixmaterial kann mit einem Aktivormaterial dotiert sein, das die elektrische Charakteristik des Grundmatrixmaterials oder seine Kristallinität nicht im Übermaß reduziert. Solche Aktivoren sind zum Beispiel isoelektronische Aktivoren wie  $\text{Mn}^{2+}$  in Zinksulfid ( $\text{ZnS}:\text{Mn}$ ) oder  $\text{Eu}^{2+}$  in Kalziumsulfid ( $\text{CaS}:\text{Eu}$ ). Auch andere Aktivatorsorten, die zum Dotieren in niedrigen Konzentrationen in Verbindung mit Koaktivoren verwendet werden, sind denkbar (z. B.  $\text{SrS}:\text{Ce},\text{K}$ ).

Der Zweck der Anpaßschicht 9 besteht in der Abstimmung der unterschiedlichen Kristallstrukturen des unterschiedlichen Schichtmaterials. Die Anpaßschicht ist nicht notwendigerweise homogen zusammengesetzt, sondern kann vielmehr in ihrer Zusammensetzung von ihrer einen Grenzfläche bis zur anderen durch die Schicht hindurch variieren, um die Kristallstrukturen der Grundmatrix und des Aktivormaterials aufeinander abzustimmen. Weiterhin dienen diese Schichten zum Ausgleich von Spannungen, die durch Unterschiede in den Kristallgitterparametern und der thermischen Ausdehnungscharakteristik hervorgerufen werden. Die Abstimmungsschicht kann ebenfalls als chemische Pufferschicht wirken, die chemische Reaktionen und Diffusion zwischen der tatsächlichen Aktivatorschicht 10 und der Grundmatrixmaterialschiicht 7 verhindert.

Die erfindungsgemäße Anpaßschicht stellt signifikante Vorteile bezüglich der Stabilität der Lichtemission zur Verfügung. Aufgrund der Funktion und des Charakters der Anpaßschicht 9 ist ihre Dicke oftmals maximal auf einige wenige atomare Schichten begrenzt. Geeignete Abstimmungsschichtmaterialien sind diejenigen, die in mehreren unterschiedlichen Kristallstrukturen auftreten können und bei denen Gitterlücken, Zwischengitteratome und gemischte Valenzen existieren können ebenso wie eine Substitution an Gitterplätzen. Die genannten Materialien schließen verschiedene Oxide wie zum Beispiel  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  und  $\text{SiO}_2$  und beispielsweise Materialien mit Spinnell- oder Perovskitstruktur ( $\text{ZnAl}_2\text{O}_4$ ,  $\text{ZnAl}_2\text{S}_4$ ,  $\text{LaAlO}_3$  und  $\text{SrTiO}_3$ ) ein. Die Abstimmungsschicht kann ebenfalls ein Metallsulfid wie zum Beispiel  $\text{Al}_2\text{S}_3$  oder  $\text{CaS}$  enthalten.

Die Abstimmungsschicht 9 kann ebenfalls als eine Teilschicht der durch Modifikation erhaltenen Grundmatrixmaterialschiicht 7 hergestellt sein. Beispiele von durch Substitution erhaltenen festen Lösungen, die als Abstimmungsschicht 9 agieren können, sind diejenigen, die aus den atomaren Schichten von Zinksulfid gebildet sind. Diese stellen die Abstimmung mit der Aktivatorschicht zur Verfügung, wobei Zink oder Schwefel ganz oder teilweise durch Calcium, Cadmium, Sauerstoff oder Selen substituiert sind, so daß die Zusammensetzung der Anpaßungsschicht beispielsweise  $\text{Zn}_{1-x}\text{Ca}_x\text{S}$ ,  $\text{Zn}_{1-x}\text{Cd}_x\text{S}$  oder  $\text{ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$  ist.

Die aktivatorhaltige Dopingschicht 8 schließt eine Aktivatorschicht ein, die erfindungsgemäß auf planare Weise dotiert ist. Beispiele für angewendete Aktivatoren sind Mangan (Mn) und seltene Erden wie zum Beispiel Cer (Ce), Samarium (Sm), Europium (Eu), Praseodym (Pr), Terbium (Tb) und Thulium (Tm).

Das Grundkristallgitter der aktivatorhaltigen Dopingschicht 8 wird durch ein sekundäres Matrixmaterial zur Verfügung gestellt, das in einem hohen Grade Effizienz und gute Stabilität der Emission zu ergeben, wo-

bei das genannte sekundäre Matrixmaterial sogar dielektrisch sein kann. Weiterhin werden keine Anforderungen an seine Löslichkeit in der festen Phase gestellt, d. h. seine direkte chemische und kristallographische Kompatibilität mit der tatsächlichen Grundmatrixmaterialschiicht 7. Solche geeignete Materialien sind beispielsweise II-VI-Verbindungen wie  $\text{ZnO}$ ,  $\text{ZnS}$  oder  $\text{ZnSe}$  und Erdalkalimetall-Chalkogenide wie  $\text{MgS}$ ,  $\text{CaS}$ ,  $\text{BaS}$  oder  $\text{SrS}$ . Auch die Oxide, Oxy sulfide oder Sulfide der seltenen Erden sind möglich, wie zum Beispiel  $\text{Gd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$  oder  $\text{La}_2\text{S}_3$ , ebenso Aluminate und Gallate ( $\text{M}, \text{Ln})\text{AlO}_x$  und ( $\text{M}, \text{Ln})\text{GaO}_x$  bei denen  $\text{M} = \text{Zn}, \text{Ca}, \text{Sr}$  oder  $\text{Ba}$  und  $\text{Ln} = \text{Y}, \text{La}, \text{Gd}$  oder  $\text{Ce}$  ist. Die Aktivatorschicht kann hauptsächlich aus Halogeniden  $\text{MX}_2$  oder  $\text{LnX}_3$  oder Oxyhalogeniden  $\text{LnOX}$  zusammengesetzt sein, bei denen  $\text{M} = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$  oder  $\text{Zn}$  und  $\text{Ln} = \text{Y}, \text{La}, \text{Ce}$  oder  $\text{Gd}$  und  $\text{X} = \text{F}, \text{Cl}$  oder  $\text{Br}$  ist.

Aufgrund seiner flachen Dicke von nur ein paar Atomschichten wächst die aktivatorhaltige Dopingschicht 8 epitaxial auf ihr Substrat auf. Als Ergebnis des erfindungsgemäßen planaren Dotierkonzeptes kann die lokale Konzentration des Aktivators verglichen mit der tatsächlichen Aktivorkonzentration gemittelt über das gesamte Volumen der Phosphorschicht 4 sehr hoch sein. Die Aktivator- und Grundmatrixmaterialien sind bekannt, aber der Wert der Erfindung erweist sich in der Möglichkeit neuartige Materialkombinationen zu verwenden und Leuchtphosphormaterialien als "high efficiency" Phosphorschichten 4 in Dünnfilmleuchtanzeigenkomponenten einzusetzen.

Die folgenden Beispiele werden diskutiert, um das typische Verhalten und die Verwendung von erfindungsgemäßen atomar, dünnen planaren Schichten in den Phosphorschichten einer elektrolumineszierenden Displaykomponente zu erleuchten.

#### Beispiel 1

Auswirkung von dünnen  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Sm}$ -Schichten auf die Kristallinität und Orientierung in einer polykristallinen Zinksulfid-Dünnfilmschicht.

Zuerst werden die in Fig. 4 gezeigten geschichteten Dünnfilmstrukturen unter Verwendung des Atomschicht-Epitaxi-Aufbringungsverfahrens (ALE)-Verfahrens für dünne Schichten (US-Patent 40 58 430) hergestellt. Demzufolge ist die Grundstruktur der erhaltenen Proben  $\text{N}_x((\text{Schicht } 11) + (\text{Schicht } 12)) + (\text{Schicht } 11)$ , wobei  $\text{N}_x$  ein positiver ganzzahliger Multiplikator ist, Schicht 11 Zinksulfid und Schicht 12 mit Samarium dotiertes Aluminiumoxid ist. Glas wird als Substrat 13 verwendet, das Substrat wird während des Prozesses bei  $500^\circ\text{C}$  gehalten, und der Druck der inerten Atmosphäre in der Prozeßkammer beträgt 1 mbar. Die Zinksulfidschichten werden aufgebracht, indem Zinkchlorid und Schwefelwasserstoff als Ausgangsreagenzien verwendet werden, wobei die Schichtwachstumsgeschwindigkeit pro individuellem ALE-(Atomic Layer Epitaxy) Zyklus ungefähr 1,25 Å beträgt. Die  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Sm}$ -Zwischenschichten läßt man unter Verwendung von Aluminiumchlorid,  $\text{Sm}(\text{thd})_3$  Chelat und Wasser als Reagenzien wachsen, wobei ein einzelner ALE-Zyklus sich aus einem  $\text{AlCl}_3$ -Puls und einem Wasserpuls oder aber aus einem einzelnen  $\text{Sm}(\text{thd})_3$ -Puls und einem Wasserpuls zusammensetzt. Die genannten  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Sm}$ -Zwischenschichten werden so aufgebracht, daß die Bearbeitung einer jeden Zwischenschicht einen  $\text{SmO}$ -Zyklus einschließt, welches man als letzte Schicht einer jeden Zwischenschicht über einer vorhergehenden  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht

wachsen läßt. Die einzelnen Zinksulfidschichten 11 in allen Beispielen bestehen aus 200 ALE-Zyklen, wodurch sie etwa 250 Å dick werden. Die Dicke der  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : Sm-Zwischenschicht variiert in den verschiedenen Beispielen. Man ließ 5 Beispielstrukturen wachsen, deren Zwischenschichten aus 0/0, 1/1, 3/1, 10/1 und 100/1 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  : Sm $\text{O}_x$ )-ALE-Zyklen bestehen, bei denen die Wachstumsgeschwindigkeit angenähert 0,5 Å pro Zyklus war. Somit ist die erste Probe gleich reinem Zinksulfid. Die positive ganzzahlige Konstante, N hat einen Wert 30 in allen Beispielen.

Die Messungen der Röntgenbeugungsdiagramme an den hergestellten Dünnfilmstrukturen liefern die unten beschriebenen Resultate. Peaks in den Röntgenbeugungsdiagrammen aller 5 Proben können anhand der Wurtzitstruktur des Zinksulfids indiziert werden und die Orientierung innerhalb der Strukturen ist stark auf die (00,2) Richtung gerichtet. Die Substrat- oder Zwischenschichten verursachen keine zusätzlichen Peaks in den Röntgenbeugungsdiagrammen. Wie aus Fig. 5 ersichtlich ist, bleibt die Position des Peaks ( $2\theta =$  ungefähr  $28,5^\circ$ ), der den (00,2) Reflex repräsentiert im wesentlichen konstant. Die Halbwertbreite  $\Delta 2\theta$  des Peaks bleibt anfänglich überwiegend konstant (bei ungefähr  $0,19^\circ$ ) und verringert sich sogar noch, bis sie anfängt sich mit einem weiteren Anstieg der Schichtdicke zu verbreitern. Die Intensität des Peaks (erhalten aus seiner Fläche oder Höhe) wächst zunächst und nimmt dann ab, um letztendlich dann drastisch abzufallen.

Somit ist bewiesen, daß die Schichtstruktur die hexagonale Kristallstruktur und Orientierung des Zinksulfids trotz der dünnen Zwischen- $\text{Al}_2\text{O}_3$  : Sm-Schichten beibehält. Nur sehr dicke Zwischenschichten (bei mehr als 10 ALE-Zyklen) sind in der Lage, die Kristallstruktur zu verziehen. Ein ungewöhnliches Phänomen wird darin gefunden, daß eine dünne Zwischenschicht sogar die Kristallordnung der Zinksulfidschichtstruktur verbessern kann und die Kristallorientierung verstärkt.

### Beispiel 2

Auswirkung der Aktivator-dotierung auf die Elektrolumineszenzcharakteristik der Phosphorschicht.

Zunächst werden die in der Fig. 1 gezeigten Elektrolumineszenzstrukturen hergestellt. Glas wird als transparentes Substrat 1 eingesetzt, auf dem eine transparente, gesputterte Bodenelektrode 2 aus Indium-Zinnoxid aufgebracht wird, die eine Dicke von 300 nm hat, und eine dielektrische Dünnfilmschicht 3 aus 300 nm dickem Aluminiumtitanoxid, welche gemäß der ALE-Aufbringmethode hergestellt wird. Die Phosphorschicht 4 läßt man in die in Fig. 2 gezeigte geschichtete Struktur unter Verwendung der ALE-Anordnungsmethode hineinwachsen. Die Grundstruktur der erhaltenen Proben der Phosphorschicht 4 ist  $Nx((\text{Schicht } 7) + (\text{Schicht } 8)) +$  (Schicht 7), worin N ein positiver ganzzahliger Vielfacher ist, die Grundmatrixmaterialschicht, Schicht 7, Zinksulfid ist und die aktivatorhaltige Dopingschicht, Schicht 8, Terbiumsulfid ist. Während des Verfahrens wird das Substrat bei  $500^\circ\text{C}$  gehalten und der Druck der inerten Atmosphäre beträgt 1 mbar. Die Zinksulfidschichten werden wie in Beispiel 1 aufgebracht, wobei die Schichtwachstumsgeschwindigkeit bei 1,25 Å pro ALE-Zyklus liegt und man die Terbiumsulfidschichten unter Verwendung von  $\text{Tb}(\text{thd})_3$ -Chelat und Schwefelwasserstoff als Ausgangsreagenzien wachsen läßt, wobei sich jeder ALE-Zyklus aus einem Puls eines jeden Reagenz zusammensetzt und die erreichte Wachstums-

geschwindigkeit ungefähr 0,1 Å pro ALE-Zyklus beträgt. Auf der Phosphorschicht wird eine dielektrische Dünnfilmisolatorschicht 5 aus 300 nm dickem Aluminiumtitanoxid mittels der ALE-Aufbringmethode hergestellt. Schließlich wird eine metallische obere Elektrodendünnfilmschicht 6 aus 1000 nm dickem Aluminium durch Verdampfungsabscheidung hergestellt. Die Herstellungsverfahren und Charakteristik für die anderen Dünnfilmstrukturen in den Beispielen — mit Ausnahme derjenigen der Phosphorschicht — sind zur Erläuterung des Beispiels nicht wesentlich.

Man ließ 3 beispielhafte Strukturen wachsen, deren Zinksulfidschichten 7 aus a) 10, b) 50 und c) 200 ALE-Zyklen bestand. Entsprechend setzen sich die Terbiumsulfidschichten 8 aus a) 1, b) 5 und c) 20 ALE-Zyklen zusammen. Somit blieb das wechselseitige Mengenverhältnis zwischen Zink und Terbium in den Beispielen konstant. Um eine konstante Dicke der Proben aufrecht zu erhalten, wurde die positive ganzzahlige Konstante N so variiert, daß sie a) 600, b) 120 bzw. c) 30 für die Proben betrug. Messungen von Röntgenbeugungsdiagrammen an den produzierten Dünnfilmstrukturen ergaben die unten beschriebenen Ergebnisse. Alle Proben lieferten die bemerkenswerten Erkenntnis, daß die Terbiumsulfidschicht das Wachstum des Zinksulfidkristallgitters nicht vollständig inhibiert. Dennoch stört eine dichte Anordnung von aktivatorhaltigen Dopingschichten ohne Abstimmungsschichten die kristalline Ordnung. Mit einem Anstieg der Dicke der Zinksulfidschicht wird die kristalline Perfektion verbessert ( $\Delta 2\theta$  wird kleiner) und der Grad der Orientierung wird verbessert (die relative Intensität des Peaks bei der (00,2) Richtung steigt). Die ermittelte Terbiumkonzentration war identisch bei ungefähr 1 mol % (Tb/Zn), bei allen Proben über Röntgenstrahlungsfluoreszenzverfahren ermittelt.

Mit einem Dickenwachstum der Zinksulfidschicht wird ein signifikanter Wechsel der Abhängigkeit der Helligkeit von der Anregungsspannung bemerkt, wie aus Fig. 6 zu erkennen ist. Eine dickere Zinksulfidschicht führt zu einer stärkeren Abhängigkeit der Helligkeit von der Anregungsspannung. Dies kann der größeren Effizienz der Elektronenbeschleunigung und Übertragung zugeschrieben werden, die aus der verbesserten Kristallinität der Phosphorschicht resultiert. Somit sind die Einsatzmöglichkeiten für die Verwendung der oben beschriebenen Strukturen in elektrolumineszierenden Displaykomponenten stark erweitert.

### Beispiel 3

Herstellung einer hellen, grünes Licht emittierenden, elektrolumineszierenden Displaykomponente mittels einer erfindungsgemäßen geschichteten Aktivator-dotierung.

Zunächst werden elektrolumineszierende Strukturen, wie in Fig. 1, gezeigt hergestellt. Mit der Ausnahme, daß die Phosphorschicht 4, das Substrat und die Dünnfilmmaterialien genauso wie deren Dicken und Charakteristika den in Beispiel 2 angewendeten entsprechen. Unter Verwendung des ALE-Verfahrens läßt man die Phosphorschicht 4, entsprechend den in den Fig. 2 und 3 gezeigten Prinzipien, in eine geschichtete Struktur mit abwechselnder Reihenfolge von Grundmatrixmaterialschichten 7, tatsächlichen Aktivatorschichten 10 und den Abstimmungsschichten 9 wachsen. Somit ist die Grundstruktur der erhaltenen Phosphorschicht 4  $Nx((\text{Schicht } 7) + (\text{Schicht } 9) + (\text{Schicht } 10) + (\text{Schicht } 9)) +$  (Schicht 7), wobei die Grundmatrixmaterialschicht,

Schicht 7, Zinksulfid ist, die aktivatorhaltige Dopingschicht, Schicht 10, Terbiumsulfid ist, und die Abstimm-  
schicht, Schicht 9, Zinkaluminiumoxid ist. Während des  
Verfahrens wird das Substrat bei 500°C gehalten und der Druck der inerten Atmosphäre beträgt 1 mbar. Die  
Zinksulfidschichten werden auf dieselbe Weise wie in  
Beispiel 1 aufgebracht und die Terbiumsulfidschichten  
auf dieselbe Weise wie in Beispiel 2. Man läßt die Zink-  
aluminiumoxidschichten unter Verwendung von Zink-  
chlorid, Aluminiumchlorid und Wasser als Ausgangsre-  
agenzien wachsen, wobei sich ein ALE-Zyklus aus aufein-  
anderfolgenden Pulsen von  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  
 $\text{AlCl}_3$  und  $\text{H}_2\text{O}$  zusammensetzt. Die erreichte Wachs-  
tumsgeschwindigkeit beträgt ungefähr 1,5 Å pro ALE-  
Zyklus. Herstellungsverfahren und Charakteristika von  
anderen Dünnschichtstrukturen in den Beispielen, mit Aus-  
nahme derjenigen der Phosphorschicht, sind für das Ver-  
ständnis des Beispiels nicht wesentlich.

Man ließ 3 Beispielstrukturen wachsen, deren Zink-  
sulfidschichten 7 aus a) 100, b) 200 und c) 300 ALE-Zy-  
klen zusammengesetzt sind. Die aktivatorhaltigen Dop-  
ingschichten 8 werden identisch für alle Beispiele pro-  
duziert. Die aktivatorhaltigen Dopingschichten 8 beste-  
hen aus 30 ALE-Zyklen von Terbiumsulfid, und die Ab-  
stimmsschichten 9 weisen einen einzigen ALE-Zyklus  
von Zinkaluminiumoxid auf. Um die Dicke der Proben  
konstant zu halten, wird die positive ganzzahlige Kon-  
stante N so variiert, daß sie a) 60, b) 30 bzw. c) 20 für die  
Proben beträgt.

Messungen von Röntgenbeugungsdiagrammen an  
den produzierten Dünnschichtstrukturen ergeben die un-  
ten beschriebenen Resultate. Alle drei Proben weisen  
eine zumindest ebenso gute Kristallinität wie die von  
reinem Zinksulfid auf. Somit unterbindet die aktivator-  
haltige Dopingschicht nicht das Wachstum des Zinksul-  
fidkristallgitters. Messungen der Abhängigkeit der Hel-  
ligkeit von der Anregungsspannung beweisen die vor-  
teilhafte elektrolumineszierende Charakteristik der  
Struktur, namentlich eine starke Abhängigkeit der Hel-  
ligkeit von der Anregungsspannung, ebenso eine hohe  
Effizienz der Lichtemission. Dies führt zu hoher Ge-  
samthelligkeit der elektrolumineszierenden Struktur  
und zur Stabilität der Emission. Die Helligkeitsmessun-  
gen bei 35 V oberhalb der Schwellenspannung sind in  
Fig. 7 gezeigt. Die Gesamthelligkeit ist linear propor-  
tional zur Anzahl von aktivatorhaltigen Dopingschichten  
im Phosphorschichtsystem. Das erfindungsgemäße  
schichtweise Aktivator dopingverfahren erreicht eine si-  
gnifikante Verbesserung in der Intensität und Stabilität  
der Emission über ein homogen dotiertes Phosphor-  
schichtsystem.

#### Beispiel 4

Herstellung einer hellen, rotes Licht emittierenden,  
elektrolumineszierenden Displaykomponente mittels  
eines erfindungsgemäßen schichtweisen Aktivator do-  
pings.

Zuerst wird die in Fig. 1 gezeigte elektrolumineszie-  
rende Struktur hergestellt. Mit der Ausnahme, daß die  
Phosphorschicht 4, das Substrat und Dünnschichtmateri-  
alien ebenso wie deren Dicken und Charakteristika iden-  
tisch mit den in Beispiel 2 verwendeten sind. Unter Ver-  
wendung der "Atomic Layer Epitaxy" (ALE-Verfahren)  
läßt man die Phosphorschicht 4, gemäß den in den Fig. 2  
und 3 gezeigten Prinzipien, in eine schichtweise Struk-  
tur wachsen, mit abwechselnder Reihenfolge der  
Grundmatrixmaterialschichten 7, der tatsächlichen Ak-

tivatorschichten 10 und der Abstimmsschichten 9. Somit  
ist die Basisstruktur der erhalten Phosphorschicht 4  
 $\text{Nx}((\text{Schicht 7}) + (\text{Schicht 9}) + (\text{Schicht 10}) + (\text{Schicht 9})) + (\text{Schicht 7})$ , wo die Grundmatrixmaterialschicht,  
Schicht 7, Zinksulfid ist, die tatsächliche Aktivator-  
schicht, Schicht 10, ist Yttriumoxid dotiert mit Europi-  
um, und die Abstimmsschicht, Schicht 9, ist Zinksulfid  
dotiert mit Kalzium. Während des Verfahrens wird das  
Substrat bei 500°C gehalten und der inerte Atmosphä-  
rendruck ist 1 mbar. Die Zinksulfidschichten werden  
wie in Beispiel 1 aufgebracht. Die tatsächlichen Aktiva-  
torschichten läßt man unter Verwendung von  
 $\text{Y}(\text{thd})_3$ - und  $\text{Eu}(\text{thd})_3$ -Chelaten und Wasser als Aus-  
gangsreagenzien wachsen, wobei sich ein ALE-Zyklus  
aus aufeinanderfolgenden Pulsen von  $\text{Y}(\text{thd})_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  
 $\text{Eu}(\text{thd})_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Y}(\text{thd})_3$  und  $\text{H}_2\text{O}$  zusammensetzt. Die  
erreichte Wachstumsgeschwindigkeit ist ungefähr 0,3 Å  
pro ALE-Zyklus. In der Anpassschicht 9 weist jeder  
ALE-Zyklus einen Satz von aufeinanderfolgenden Pul-  
sen von  $\text{Ca}(\text{thd})_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{ZnCl}_2$  und  $\text{H}_2\text{S}$  auf. Die Wachs-  
tumsrate ist ungefähr 1 Å pro ALE-Zyklus. Herstel-  
lungsmethoden und Eigenschaften der anderen Dünns-  
schichtstrukturen in den Beispielen, mit Ausnahme derjeni-  
gen der Phosphorschicht, sind für das Verständnis der  
Beispiele nicht wesentlich.

Man läßt 3 Beispielstrukturen wachsen, deren tat-  
sächliche Aktivatorschichten aus a) 10 b) 20 und c) 30  
ALE-Zyklen von mit Europium dotiertem Yttriumoxid  
zusammengesetzt sind. Die Zinksulfidschichten 7 wer-  
den auf identische Weise für alle Proben hergestellt, so  
daß sie 200 ALE-Zyklen enthalten. Die Abstimmsschich-  
ten 9 weisen 5 ALE-Zyklen von einer Verbindung auf, in  
der ein Anteil des Zinks im Zinksulfid mit Kalzium sub-  
stituiert ist.

Wenn die Röntgenbeugungsdiagramme der Dünns-  
schichtstrukturen gemessen werden, wird es offensichtlich,  
daß die aktivatorhaltige Dopingschicht das Wachstum  
oder die Orientierung des Zinksulfidkristallgitters nicht  
beendet. Die Aussendung roten Lichts von der elektro-  
lumineszierenden Struktur steigt mit dickeren, aktiva-  
torhaltigen Dopingschichten, wie in Fig. 8 gezeigt, an.

Während der Phosphorschichtsystem 4-Aufbau der  
Erfindung, in der obigen Beschreibung lediglich in Ver-  
bindung mit der Leiter-Isolator-Phosphor-Isolator-Lei-  
ter Struktur gemäß Fig. 1 angewendet wird, ist die Ver-  
wendung einer Phosphorschicht in Übereinstimmung  
mit der Grundidee der Erfindung nicht darauf be-  
schränkt, sondern vielmehr kann sie auch in anderen  
Arten von elektrolumineszierenden Komponenten ein-  
gesetzt werden.

Die vorgeschlagene Auswahl von Materialien soll  
nicht so verstanden werden, daß die Verwendung ande-  
rer denkbarer Arten von Grundmatrix-/Aktivatormate-  
rialsystemen vom Anwendungsgebiet der Erfindung ab-  
weicht.

#### Patentansprüche

1. Phosphorschicht (4) einer elektrolumineszierenden Komponente, mit übereinandergeschichteten Grundmatrixmaterialschichten (7) und aktivatorhaltigen Dopingschichten (8), die abwechselnd zwischen den Grundmatrixschichten angeordnet sind, so daß es zumindest zwei Grundmatrixmaterialschichten (7) und zumindest eine aktivatorhaltige Dopingschicht (8) gibt, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der aktivatorhaltigen Dopingschichten (8) maximal 10 nm ist, wodurch sie hinreichend

dünn sind um das Kristallstrukturwachstum der Grundmatrixmaterialschichten (7) im wesentlichen nicht zu stören.

2. Phosphorschicht (4) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die aktivatorhaltige Dopingschicht (8) tatsächliche Aktivatorschichten (10) aufweist, so daß es zumindest eine tatsächliche Aktivatorschicht (10) gibt.

3. Phosphorschicht (4) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die aktivatorhaltige Dopingschicht (8) übereinandergeschichtete Abstimm- schichten (9) und tatsächliche Aktivatorschichten (10) aufweist, so daß es zumindest eine Abstimm- schicht (9) und zumindest eine tatsächliche Aktiva- torschicht (10) gibt.

4. Phosphorschicht (4) nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der tatsächlichen Aktivatorschicht (9) maximal 5 nm, vorzugsweise 1 nm ist.

5. Phosphorschicht (4) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der Abstimm- schicht (9) maximal 5 nm, vorzugsweise 0,5 bis 1 nm ist.

6. Phosphorschicht (4) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Schicht mindestens zwei verschiedene Arten von Aktivatoren enthält.

7. Phosphorschicht (4) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Schicht zumindest zwei aktivatorhaltige Dopingschichten (8) aufweist, die unterschiedliche Arten von Aktivatoren enthalten.

8. Phosphorschicht (4) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Grundmatrixmaterial- schicht (7) eine II-VI-Verbindung, vorzugsweise Zinksulfid ( $\text{ZnS}$ ), oder beispielsweise, Zinksele- nid ( $\text{ZnSe}$ ), Kadmiumsulfid ( $\text{CdS}$ ) oder ein Erdalkalime- tallchalcogenid wie zum Beispiel Kalziumsulfid ( $\text{CaS}$ ), Strontiumsulfid ( $\text{SrS}$ ) oder eine gemischte Verbindung daraus wie zum Beispiel  $\text{ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$  oder  $\text{Ca}_{1-x}\text{Sr}_x\text{S}$  ist.

9. Phosphorschicht (4) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Grundmatrixmaterial- schicht (7) mit Cer dotiertes Strontiumsulfid ( $\text{SrS}:\text{Ce}$ ), mit Mangan dotiertes Zinksulfid ( $\text{ZnS}:\text{Mn}$ ) oder mit Europium dotiertes Kalziums- sulfid ( $\text{CaS}:\text{Eu}$ ) ist.

10. Phosphorschicht (4) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Aktivator enthaltende Do- pingschicht (8) Mangan ( $\text{Mn}$ ) oder seltene Erden wie zum Beispiel Cer ( $\text{Ce}$ ), Samarium ( $\text{Sm}$ ), Europi- um ( $\text{Eu}$ ), Praseodym ( $\text{Pr}$ ), Terbium ( $\text{Tb}$ ) oder Thuli- um ( $\text{Tm}$ ) als Aktivator enthält.

11. Phosphorschicht (4) nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die tatsächliche Aktivator- schicht (10) aus einer II-VI-Verbindung wie  $\text{ZnS}$ ,  $\text{ZnSe}$  oder  $\text{CdS}$ , oder einem Erdalkalimetall-Chal- kogenid wie zum Beispiel  $\text{MgS}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{CaS}$ ,  $\text{SrS}$  oder  $\text{BaS}$ , dotiert mit dem Aktivator, ist.

12. Phosphorschicht (4) nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die tatsächliche Aktivator- schicht (10) im wesentlichen aus einem Seltener- denoxid  $\text{Ln}_2\text{O}_3$  ist, in dem Ln u. a. Sc, Y oder Gd sein kann, aus einem Seltenerdensulfid  $\text{Ln}_2\text{S}_3$ , in dem Ln u. a. Y oder La ist, oder aus einem Seltener- denoxisulfid  $\text{Ln}_2\text{O}_2\text{S}$ , in dem Ln u. a. Y, La oder Gd ist, dotiert mit dem Aktivator.

13. Phosphorschicht (4) nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die tatsächliche Aktivator- schicht (10) im wesentlichen aus einem Aluminat  $(\text{M,Ln})\text{AlO}_x$  oder Gallat  $(\text{M,Ln})\text{GaO}_x$  ist, in wel-

chem M u. a. Zn, Ca, Sr oder Ba und Ln Y, La, Gd oder Ce ist, dotiert mit dem Aktivator.

14. Phosphorschicht (4) nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die tatsächliche Aktivator- schicht (10) im wesentlichen aus einem Halogenid  $\text{MX}_2$  oder  $\text{LnX}_3$  oder einem Oxyhalogenid  $\text{LnOX}$  ist, in welchem M u. a. Ca, Sr oder Ba ist; Ln ist Y, La, Gd oder Ce; und X ist F, Cl oder Br, dotiert mit dem Aktivator.

15. Phosphorschicht (4) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Abstimm- schicht (9) aus einem Metallsulfid ist, u. a. Aluminumsulfid ( $\text{Al}_2\text{S}_3$ ), Kalziumsulfid ( $\text{CaS}$ ) oder Zinkaluminium Spinell ( $\text{ZnAl}_2\text{S}_4$ ).

16. Phosphorschicht (4) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Abstimm- schicht (9) ein ge- mischtes Material ist, aufweisend ein geeignetes Grundmatrixmaterial, welches teilweise substitu- iert ist, wobei das geeignete Grundmatrixmaterial und die Substituenten u. a. Zinksulfid und Kalzium ( $\text{Zn}_{1-x}\text{Ca}_x\text{S}$ ) Zinksulfid und Kadmium ( $\text{Zn}_{1-x}\text{Cd}_x\text{S}$ ) oder Zinksulfid und Selen ( $\text{ZnS}_{1-x}\text{Se}_x$ ) sind.

17. Phosphorschicht (4) nach einem der vorherge- henden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichten (7, 8, 9, 10) der Phosphorschicht (4) in solchen atomaren Schichten aufgebracht sind, die unter Verwendung u. a. der Atomic Layer Epitaxy- Methode oder Molecular Beam Epitaxy-Methode erhalten werden können.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —



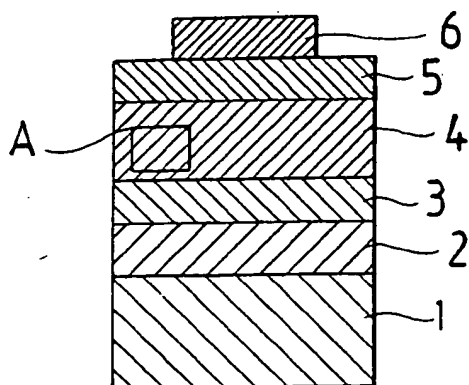


Fig. 1

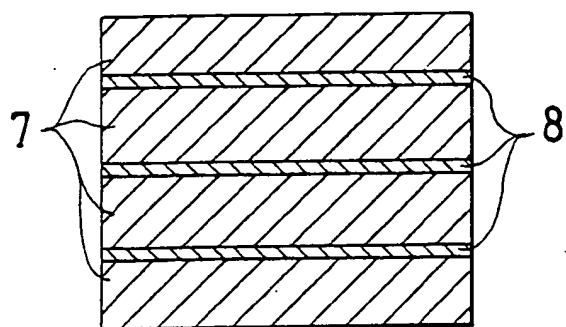


Fig. 2

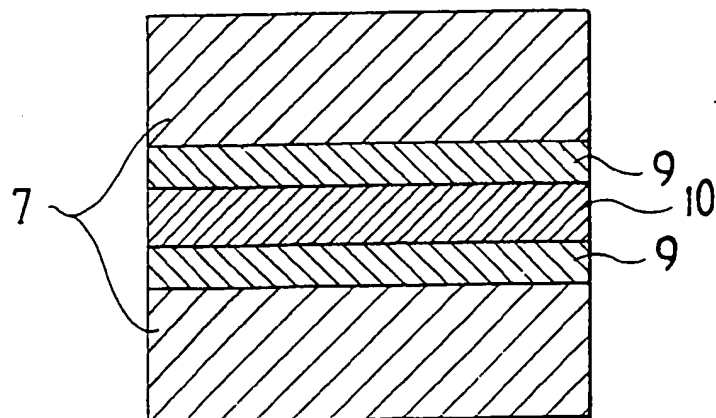


Fig. 3

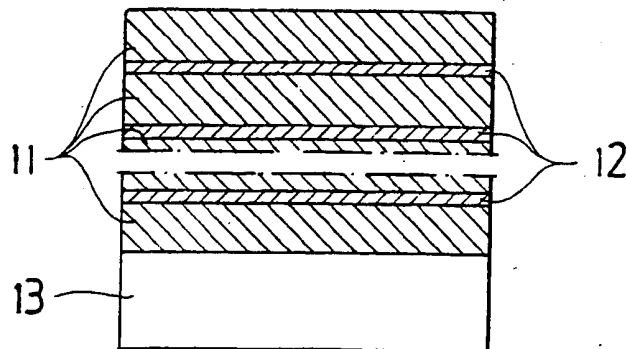


Fig. 4

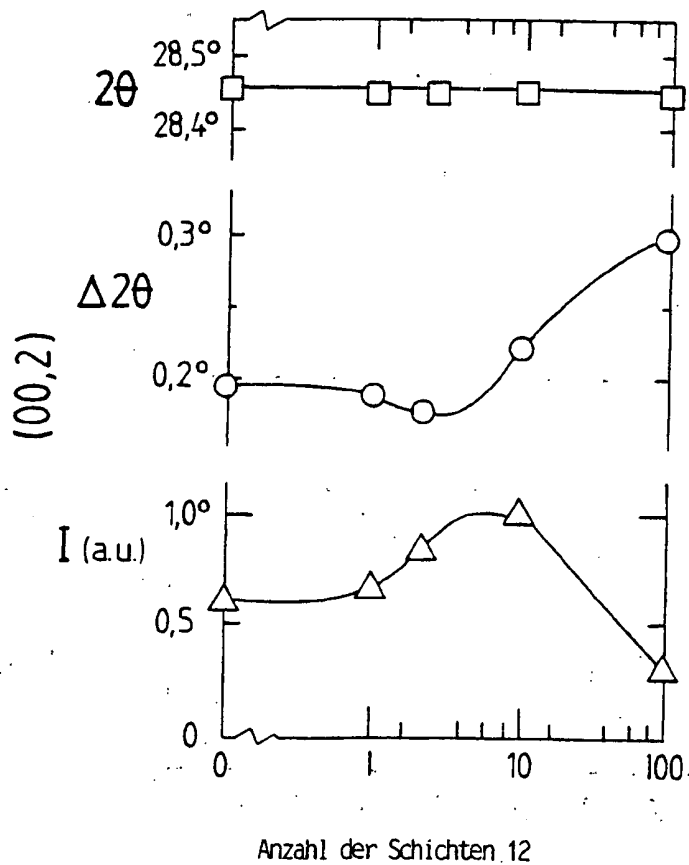


Fig. 5

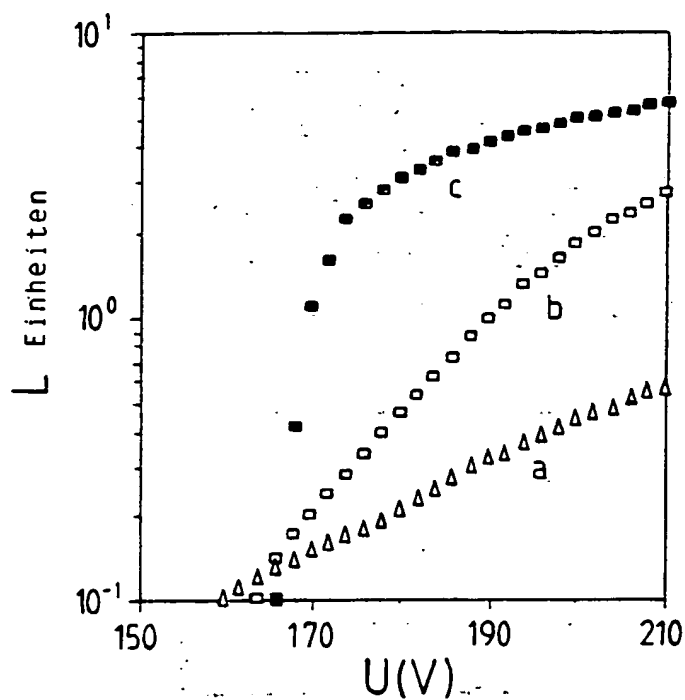


Fig. 6

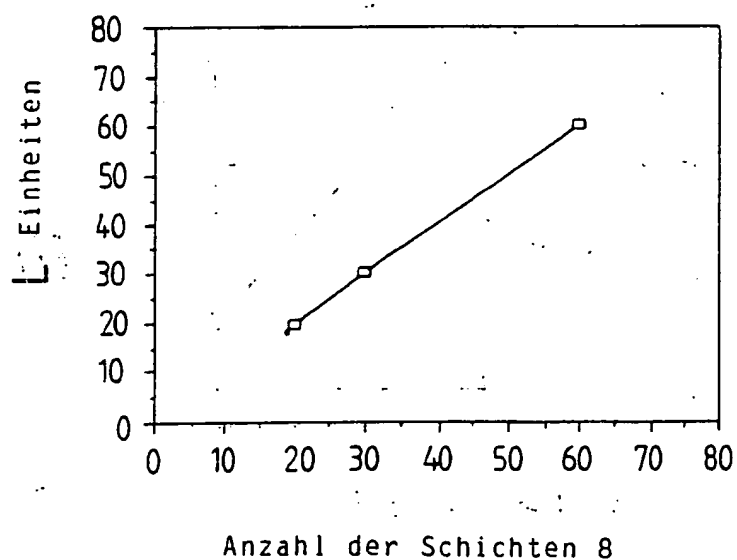
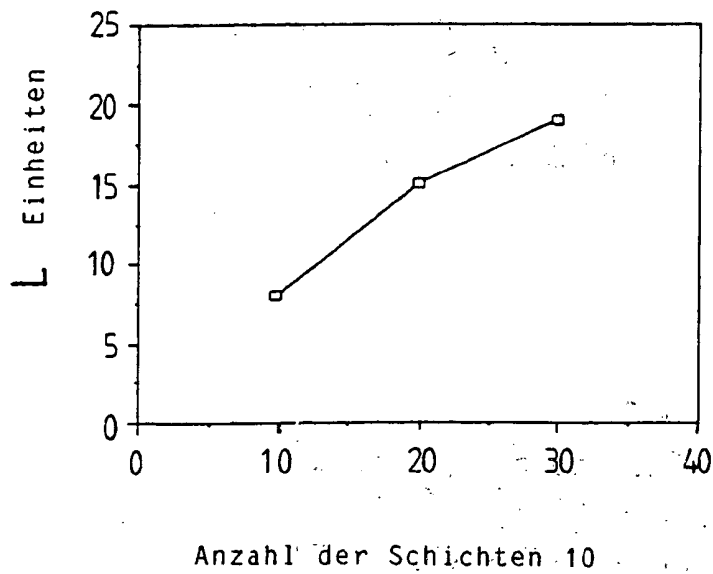


Fig. 7



*Fig.8*

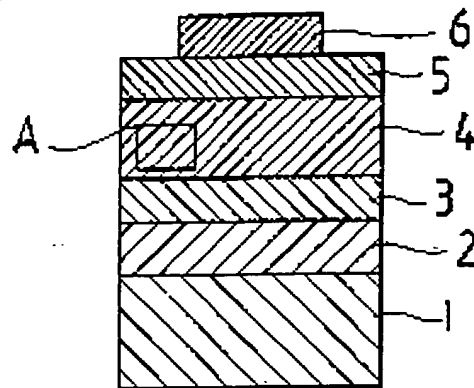


Fig. 1

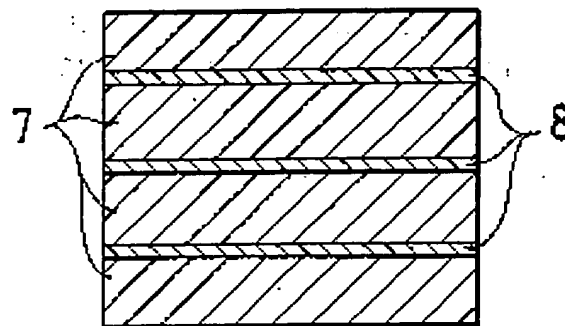


Fig. 2

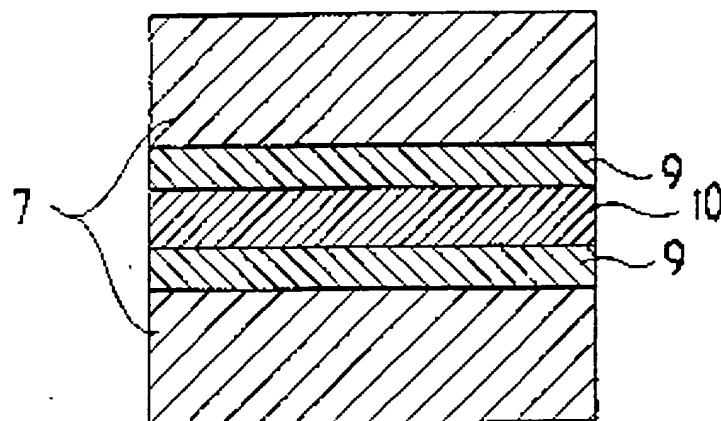


Fig. 3

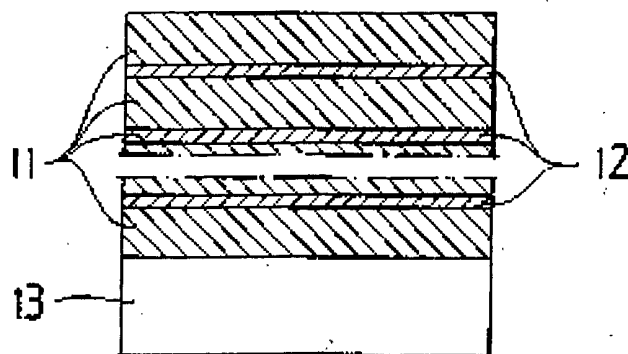


Fig.4

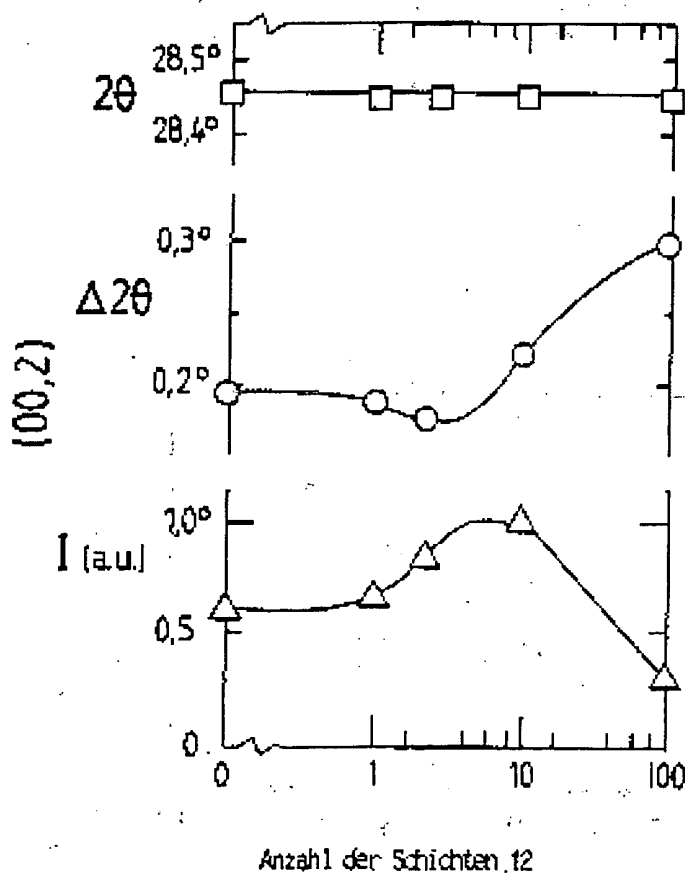


Fig.5

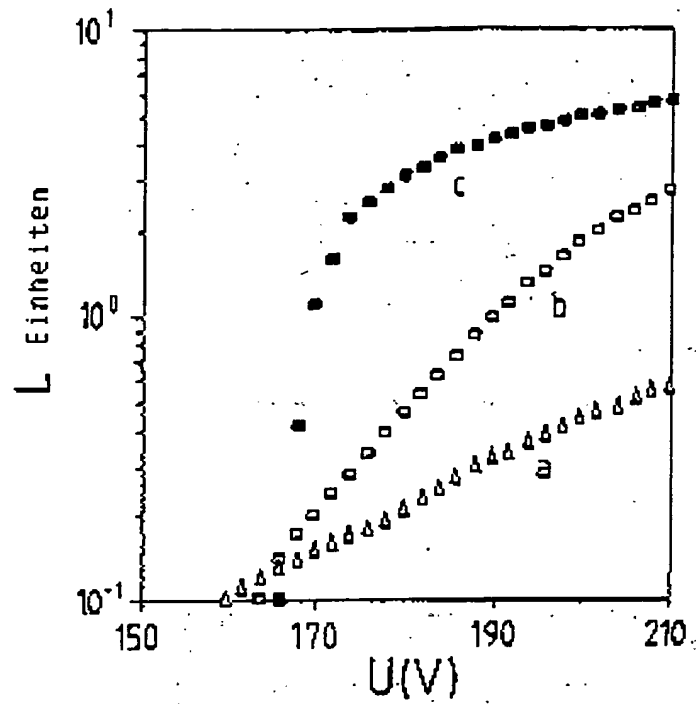


Fig.6

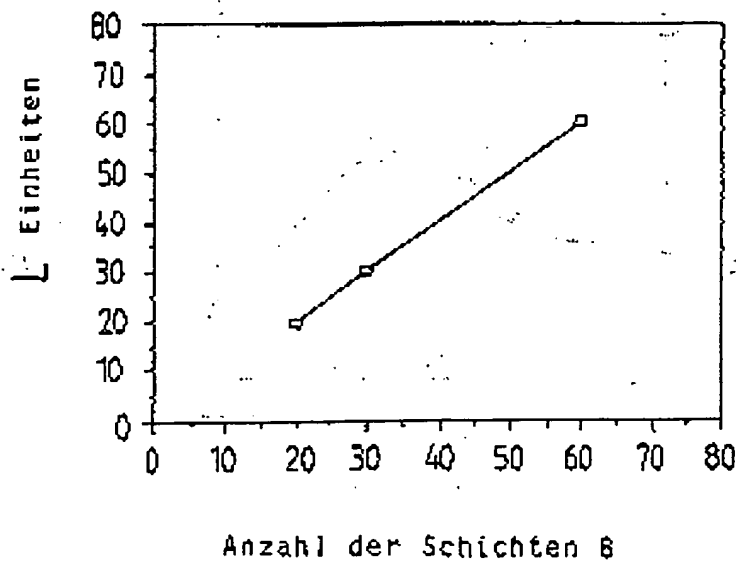


Fig.7

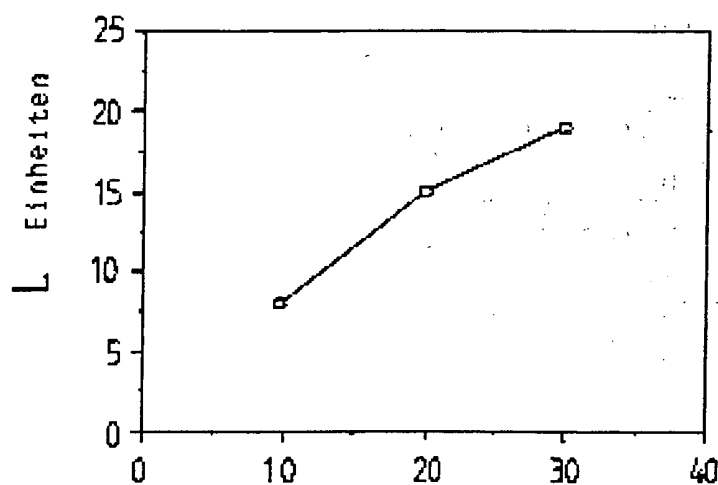


Fig. 8

Anzahl der Schichten 10



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**This Page Blank (upside)**